

明細書

燃料電池システム及びその駆動方法

技術分野

本発明は、燃料電池システムに係り、特に高負荷時の駆動に要する消費電力を削減するための制御方法の改良に関する。

背景技術

従来、燃料ガスである水素ガスを燃料電池に循環させて発電する燃料電池システムでは、燃料電池の発電量、すなわち負荷変動に対して、エアの供給圧を制御し、水素ガスについては、水素ガスを強制的に循環させる水素ポンプの回転数を変化させて水素ガス消費量を増減していた。

例えば、特開2003—68334号公報には、コンプレッサで加圧された空気を燃料ガス圧力調整弁に導入し、燃料電池の極間差圧を所定以内に納めるように調整する技術が開示されている。燃料ガスは、燃料電池の要求出力に応じて回転数が大きくなるよう制御される水素ポンプで供給されていた。同様に、燃料ガスをタービンで供給するという技術が、特開昭60—10566号公報にも開示されている。

発明の開示

しかし、上記公知技術には、水素ポンプやタービン等の駆動手段の駆動量と循環経路の圧力調整量との間の調整を取ることは考慮されておらず、特に、駆動手段のみで燃料供給量を変化させた場合、不都合が生じる可能性があった。

すなわち、ポンプのような駆動手段では、燃料電池の負荷が上昇していくに連れ動力源の消費動力が上昇していくため、特に高負荷時においてシステムの総合的な発電効率が悪くなっていくという傾向にあった。

また、燃料電池の高負荷状態における燃料供給を駆動手段による循環量制御のみに依存するものとすれば、駆動手段が高速回転に耐え多量の燃料ガスを循環することを要求され、そのため駆動手段が大型化せざるを得なかった。

そこで本発明は、発電効率が高く駆動手段を小型化可能な燃料電池システムを提供することを目的とする。

また「圧力調整手段」とは循環経路の圧力を変更維持可能な構成物をいい、調整弁（レギュレータ）の他に、水素発生量を調整可能な改質器や水素タンクのようなものも含まれる。少なくとも高圧で燃料ガスを供給する場合に消費動力が大きく増えないような構成物であることが好ましい。

5 ここで、本発明では、少なくとも要求ガス量が基準値より高い領域では要求ガス量の変化に対応させて圧力調整手段の圧力調整量を変化させることは好ましい。当該構成によれば、要求ガス量が高い領域において燃料ガスの圧力変化によって燃料量を調整するため、相対的に駆動手段による駆動量を減らすことができ、高負荷時に特に著しく増える傾向にある駆動手段の消費動力を低減することが可能である。

10 本発明において「基準値」は駆動手段の駆動特性により任意に設定可能であるが、少なくともそれ以上の要求ガス量の增加分を駆動手段の駆動で補おうとすれば消費動力がさらに増えるような値に設定する。

また、本発明では、要求ガス量が基準値より高い領域では駆動手段の駆動量の変化率を基準値より低い領域に比べ低下させることは好ましい。当該構成によれば、要求ガス量が高い領域において、駆動手段の駆動量の変化率が低下するので、駆動手段による駆動量が減り、高負荷時に特に著しく増える傾向にある駆動手段の消費動力を低減することが可能である。

20 ここで駆動量の変化率の低下とは、正の変化率が徐々に減って漸近線のように飽和すること、変化率がゼロになること（つまり固定値）、さらに変化率が負になって減ることをも含む。

ここで、本発明では、要求ガス量が基準値より低い領域では圧力調整手段の圧力調整量が一定の値以下に保たれることは好ましい。要求ガス量が低い領域では燃料ガスの消費量が少ないが、この領域で循環経路における燃料ガスの圧力が高すぎると、燃料ガスの空気極への燃料ガスの漏れ（クロスリーク）が多くなって燃料電池の発電効率を低下させる。この点、当該構成によれば、燃料ガスの消費量が少ない低発電領域では燃料ガスの圧力が一定の値以下に保たれるので、燃料ガス漏れといった不都合を生じない。

図11A：本実施形態4の制御方法を説明する図であり、要求負荷に対する燃料ガス消費量の関係図

図11B：要求負荷に対するポンプ回転数制御特性図

図11C：要求負荷に対する調整弁目標圧力制御特性図

5 図12：水素ポンプ入口圧力とポンプ回転数と消費動力との関係図

発明を実施するための最良の形態

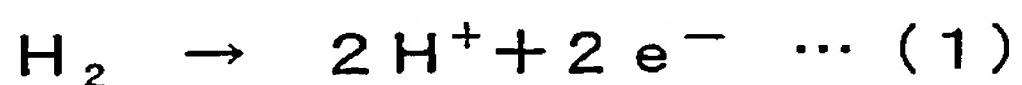
次に本発明を実施するための好適な実施形態を、図面を参照しながら説明する。

(原理説明)

まず図1及び図2を参照して、本発明の動作原理を説明する。

10 図1に示すように、本発明では、燃料電池FCに対し燃料ガスLを供給する循環経路Rが形成されている。循環経路Rには、燃料ガスLを強制循環させる駆動手段(水素ポンプ)PMが設けられている。循環経路Rの圧力pは圧力調整手段(調整弁)RGによって調整されている。そして、燃料電池FCに要求される発電電力(負荷)に基づいて、駆動手段PMの駆動特性が決定され、決定された駆動手段PMの駆動特性に基づく駆動量不足を補うように圧力調整手段RGによる圧力調整量が決定される。

15 図2Aに燃料電池の要求負荷に対する燃料ガス消費量の関係図を示す。燃料電池は水の電気分解の逆反応を起こすものであるために、陰極(カソード)である燃料極側には燃料ガスである水素ガスが供給され、陽極(アノード)である空気極側には酸素を含んだガス(空気)が供給され、燃料極側では式(1)のような反応を、空気極側では式(2)のような反応を生じさせて電子を循環させ電流を流すものである。



すなわち電子の発生量と水素ガスの供給量は対応しており、図2Aのような対応関係が必要なことが予想されるのである。

20 図2Bに駆動手段PMの駆動特性の例を、図2Cに当該駆動手段PMの駆動量不足を補うように調整される圧力調整手段RGの調整量の例を示す。従来の燃料電池システムにおける燃料量制御方法は、例えば、図2B及びCの基準値Pt(h)以下の領域に

せている（図 2 C）。以上の制御方法によれば、発電電力の値によって駆動手段 P M の動作状態を変更可能なので、駆動手段 P M の駆動量や駆動能力を極端に高くしなくても燃料電池 F C の負荷変動に対応可能となり、駆動手段 P M の消費動力を抑え、かつ駆動手段 P M を小型化可能となる。

5 ここで、制御状態を切り替える発電電力の基準値 P t h は、駆動手段の駆動特性に大きく依存するが、基準値以上の発電電力の增加分を駆動手段 P M の駆動で補おうとすれば消費動力が急増するような値に設定すればよい。

なお、発電電力が基準値 P t h より低い領域（P t h の左側領域）では、図 2 C に示すように、圧力調整手段 R G の圧力調整量が一定の値 P O 以下に保たれるように制御する。このような制御によって、燃料ガスの空気極への燃料ガスの漏れ（クロスリーク）を防止することができる。この値 P O は燃料ガスの消費量が少ない領域であっても燃料ガスのガス漏れ（クロスリーク）を生じない程度の値とする。

10 ただし、基準値に基づいて圧力調整量を調整しなければならないわけではなく、単純には、燃料電池の負荷量に応じて圧力調整を行うように構成すれば充分である。以下、実施形態 1 で基準値を伴わない場合の実施態様を、実施形態 2 以降で基準値を利用した場合の実施態様を説明する。

（実施形態 1）

次に、上記原理に基づく具体的な実施形態について説明する。本発明の実施形態は、電気自動車等の移動体に搭載する燃料電池システムに本発明の制御方法を適用したものである。図 3 に本燃料電池システムのシステム全体図を示す。以下の実施形態は本発明の一形態に過ぎず、本発明はこれに限定されずに適用可能である。

図 3 に示すように、当該燃料電池システムは、燃料電池スタック 1 0 に燃料である水素ガスを供給するための系統と、空気を供給するための系統と、燃料電池スタック 1 0 を冷却するための系統とを備えて構成されている。

25 燃料電池スタック 1 0 は、水素ガス、空気、冷却液の流路を有するセパレータと、一対のセパレータで挟み込まれた M E A (Membrane Electrode Assembly) とから構成されるセルとを複数積層したスタック構造を備えている。M E A は高分子電解質膜

整弁RGの調整量、すなわち圧力調整は、空気極側のコンプレッサ202の運転状態によって定まるようになっている。調整弁RGの制御部に印加される空気の圧力に応じて調整弁RG下流のガス圧が設定される。遮断弁SV2及びSV3は、燃料電池システムの発電停止時や間欠動作時に遮断され、運転時は開放されている。気液分離器102は、通常運転時において燃料電池スタック10の電気化学反応により発生する水分その他の不純物を水素オフガス中から除去し、遮断弁SV4を通じて外部に放出する。水素ポンプ103は、制御部20の制御に基づいて、水素ガスの循環経路において水素ガスを強制循環させる。遮断弁SV5は、ページ時に開放されるが、通常の運転状態及び本発明のガス漏れ判定時には遮断されている。逆止弁RVは水素ガスの逆流を防止する。遮断弁SV5からページされた水素オフガスは図示しない希釀器を含む排気系で処理される。

燃料電池スタック10に空気を供給するための系統としては、エアクリーナ201、コンプレッサ202、加湿器203等を備えている。エアクリーナ201は、外気を浄化して燃料電池システムに取り入れる。コンプレッサ202は、取り入れられた空気を制御部20の制御に従って圧縮し供給する空気量や空気圧を変更するようになっている。加湿器203は圧縮された空気に対し、空気オフガスと水分の交換を行って適度な湿度を加える。コンプレッサ202により圧縮された空気の一部は燃料系に供給され、遮断弁SV6とSV7との間の区間の空気圧が調整弁RGに印加されるようになっている。燃料電池スタック10から排出された空気オフガスは図示しない希釀器を含む排気系に排出される。

燃料電池スタック10の冷却系は、ラジエタ11、ファン12、及び冷却ポンプ13を備え、冷却液が燃料電池スタック10内部に循環供給されるようになっている。

制御部20はECU (Electric Control Unit) 等の公知のコンピュータシステムであり、図示しないROM等に格納されている本発明を実施させるソフトウェアプログラムを図示しないCPU (中央処理装置) が順次実行することにより、当該システムを本発明の制御装置として動作させることが可能になっている。すなわち、後に説明する手順 (図4) によって、制御部20は、燃料電池スタック10の要求発電電力

は、燃料電池の要求発電電力 P_r と水素ガスの循環量との関係テーブル（例えば図 5）を参照して水素ガスの要求循環量を決定する（S 2）。なお、制御部 20 は図 5 のような対応関係をデータテーブルとして保持している。図 5 の関係は比例関係であるため、テーブルデータではなく関係式として保持し、演算により循環量を求めるよ
5 うにしてもよい。

また図 6 に示すように、目標循環量が定まれば、水素ポンプの入口圧力に対応して水素ポンプに必要とされる目標回転数が定まる。そこで、制御部 20 は圧力センサ P 3 の検出信号を参照して水素ポンプ 103 の入口圧力を測定し（S 3）、測定された水素ポンプ 103 の入口圧力測定値と目標循環量とに基づいて、例えば図 6 の特性を
10 示すデータテーブルを参照して、制御部 20 は水素ポンプ 103 に必要な目標回転数 N_p を求める（S 4）。図 6 に示すような関係テーブルは、循環量に応じて用意されている。

ここで循環量が定まると図 7 に示すような関係により理論的に水素ポンプの入口圧力の目標値が定まる。しかし、実際の調整弁 RG によって調整される水素ポンプ 10
15 3 の出口付近から水素ポンプの入口までの循環経路には、流路抵抗により圧損が発生するため、この圧損を勘案して目標圧力制御をしなければならない。このため、調整弁 RG によって調整しなければならない循環経路の圧力は、水素ポンプの入口圧力に圧損を加えた値となる。

そこで、まず圧損を求めるため、図 7 に示す特性に対応した関係テーブルを参照して、制御部 20 はステップ S 2 で得られた要求循環量に対応する水素ポンプ 103 の入口圧力の目標値（理論値）を求める。図 8 に示すように、水素ポンプの入口圧力と循環量とが定まると、水素ポンプ 103 の出口から入口までの循環経路で生ずる圧損が定まる。そこで、水素ポンプ 103 の入口圧力目標値と要求循環量とに基づき図 8 の特性に対応する関係テーブルを参照して、制御部 20 は水素ポンプ 103 の入口圧力目標値に対して当該要求循環量で発生する圧損を求める（S 5）。

圧損と水素ポンプの入口圧力を加えた値が、調整弁 RG によって調整されるべき目標圧力 P_{rg} となる。そこで制御部 20 は、水素ポンプ 103 の入口圧力目標値にこ

特に循環量が増大する場合には水素ポンプの回転数を増加させることなく負荷変動に対応できるので、消費動力を抑え全体的な発電効率を向上させることができる。また回転数を少なく維持できる為水素ポンプを小型化でき、燃料システム全体をコンパクトに提供できるようになる。

5 (実施形態 2)

本発明の実施形態 2 は、上記実施形態 1 と同様の燃料電池システムにおいて、要求出力が基準値より大きいか否かに応じてシステム制御を変更する実施態様に関する。図 9 に、本実施形態 2 における動作を説明するフローチャートを示す。

まず、制御部 20 は、実施形態 1 と同様にして、燃料電池システムに要求される負荷量に基づいて燃料電池スタック 10 に要求される発電電力 P_r を計算する (S 2 1)。

次いで制御部 20 は、当該要求発電電力 P_r を図 2 に示すような基準値 P_{th} と比較する (S 2 2)。要求発電電力 P_r が基準値 P_{th} より小さい場合、水素ポンプ 103 によって負荷変動に対応しても著しい消費電力の増大を生じない。そこで制御部 20 は、調整弁 RG の目標圧力 P_{rg} を要求発電電力 P_r が基準値 P_{th} であるときの適正圧力 P_f に固定し維持する (S 2 3)。

水素ポンプ 103 の回転数は実施形態 1 と同様の手順で計算される。まず、循環経路の目標圧力が定まると、その圧力下における、燃料電池の要求発電電力 P_r と水素ポンプ 103 に必要な循環量との関係 (例えば図 5) から目標循環量を決定する (S 2 4)。

次いで定められた循環量に対して水素ポンプ 103 の入口圧力の目標値が図 7 に示すように一義的に決まるので、このような関係を示すデータテーブルまたは関係式に基づいて、制御部 20 は水素ポンプ 103 の入口圧力目標値を決定する (S 2 5)。そして、求められた水素ポンプ 103 の入口圧力と循環量とに基づいて、例えば図 6 に示すような特性を示すデータテーブルを参照して、制御部 20 は水素ポンプ 103 に必要な目標回転数 N_p を求める (S 2 6)。

以上のような処理によって、循環経路の目標圧力 P_{rg} を一定値 P_f に定めた後、

以上のような処理によって、当該燃料電池システムは、図 2 A～Cにおける基準値 $P_{t h}$ の右側の領域で制御されることになる。

以上、本実施形態 2 によれば、要求発電電力 P_r が基準値 $P_{t h}$ 以上の領域では水素ポンプ 103 の回転数を上げずに固定し循環経路の圧力を負荷変動に対応させて変化させるようにするので、ポンプ回転数増大に伴う著しい消費動力の増大を生ずることなく燃料電池システムを運転可能であり、全体的な発電効率を向上させることができる。また回転数を少なく維持できる為水素ポンプを小型化でき、燃料システム全体をコンパクトに提供できるようになる。

また、要求発電電力 P_r が基準値 $P_{t h}$ より小さい領域では循環経路の圧力を固定し水素ポンプ 103 の回転数のみで負荷変動に対応するので、制御が容易に行える。すなわち、要求発電電力や循環量が低下した場合にはそれに応じて回転数を低下させるように制御されるので、システムの負荷状態に併せて消費動力を合理的に低下させていくことが可能であり、システム全体の発電効率をさらに向上させることができる。

(実施形態 3)

15 本発明の実施形態 3 は、前記実施形態 2 と同様の燃料電池システム制御方法における、制御部による調整弁 RG の目標圧力 $P_{r g}$ と水素ポンプの回転数 N_p の制御方法の変形例に関する。

本実施形態 3 では、燃料電池に要求される要求発電電力 P_r と燃料ガスの消費量が、図 10 A のように対応している場合に、水素ポンプ 103 の回転数を図 10 B のような特性で、調整弁 RG の目標圧力を図 10 C) のような特性で変化させるものである。特に、要求発電電力 P_r が基準値 $P_{t h}$ 以上である場合、上記実施形態 1 では水素ポンプの回転数を固定値 N_f にしたが、当該実施形態 2 では、固定値 N_f とせず、代わりに単調上昇させたり (f p 1) 単調減少させたり (f p 1) している点に特徴がある。

25 つまり水素ポンプの回転数が大きくなると消費動力が激増するが、基準値 $P_{t h}$ における水素ポンプの回転数がそのような傾向になるまでまだ余裕が有る場合、即時に

する（図11C、f v 3）。

このように本実施形態4によれば、水素ポンプの回転数と調整弁の目標圧力の一方を不連続的に固定値とせず緩やかに変化させて収束させていくこともでき、このような方法によっても本発明の作用効果を奏すことができる。

ム。

5. 前記要求ガス量が基準値より低い領域では前記圧力調整手段の圧力調整量が一定の値以下に保たれる、請求項 1 または 2 に記載の燃料電池システム。

5

6. 前記駆動手段は、前記要求ガス量と前記循環経路内の圧力の測定値とに基づいて制御される、請求項 1 または 2 に記載の燃料電池システム。

7. 燃料ガスを循環させて発電する燃料電池を備える燃料電池システムの駆動方法
10 であって、

該燃料電池において要求される要求ガス量を推測するステップと、

推測された該要求ガス量の増加に伴って、該燃料電池に供給される燃料ガスを循環させる循環経路の燃料ガスの圧力を上昇させるステップと、を備える燃料電池システムの駆動方法。

図 1

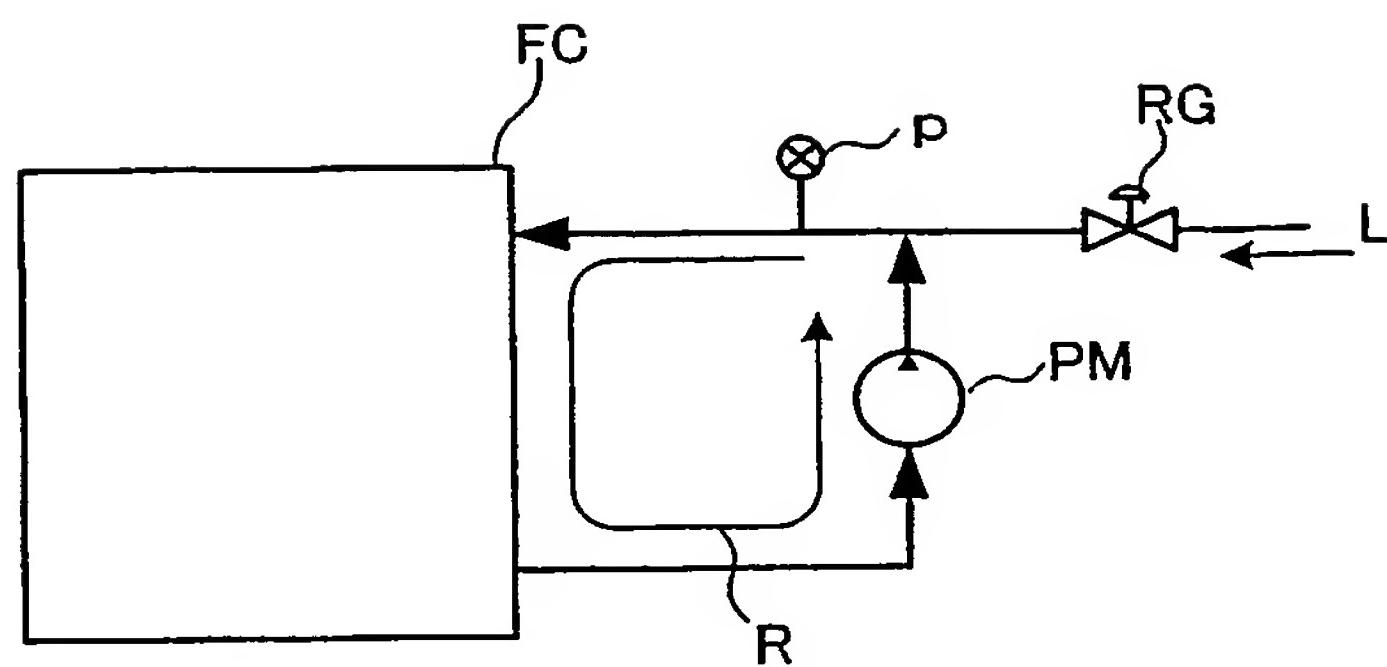


図2A

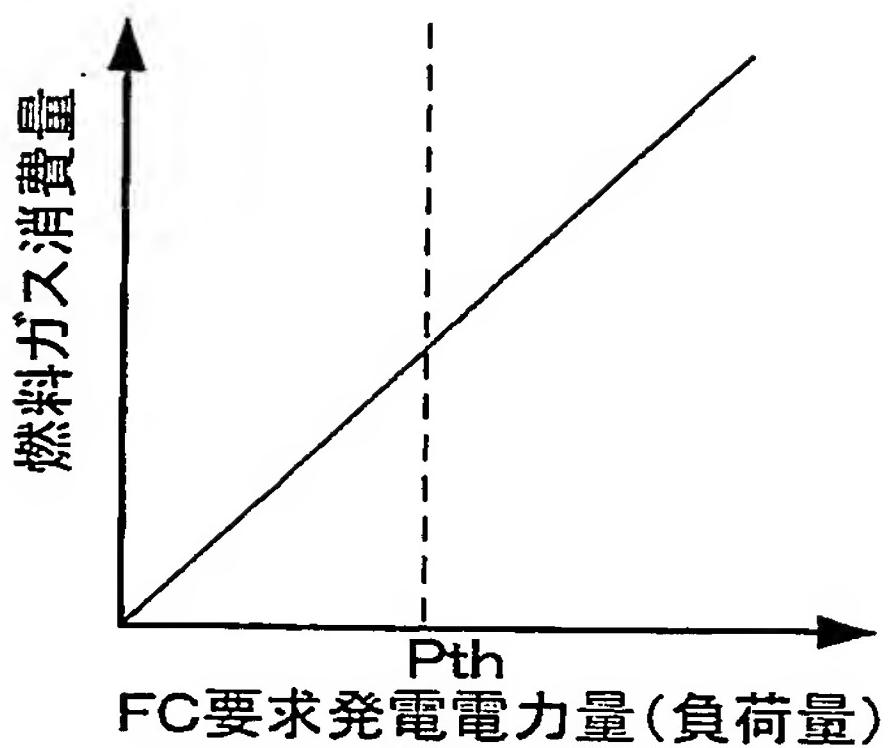


図2B

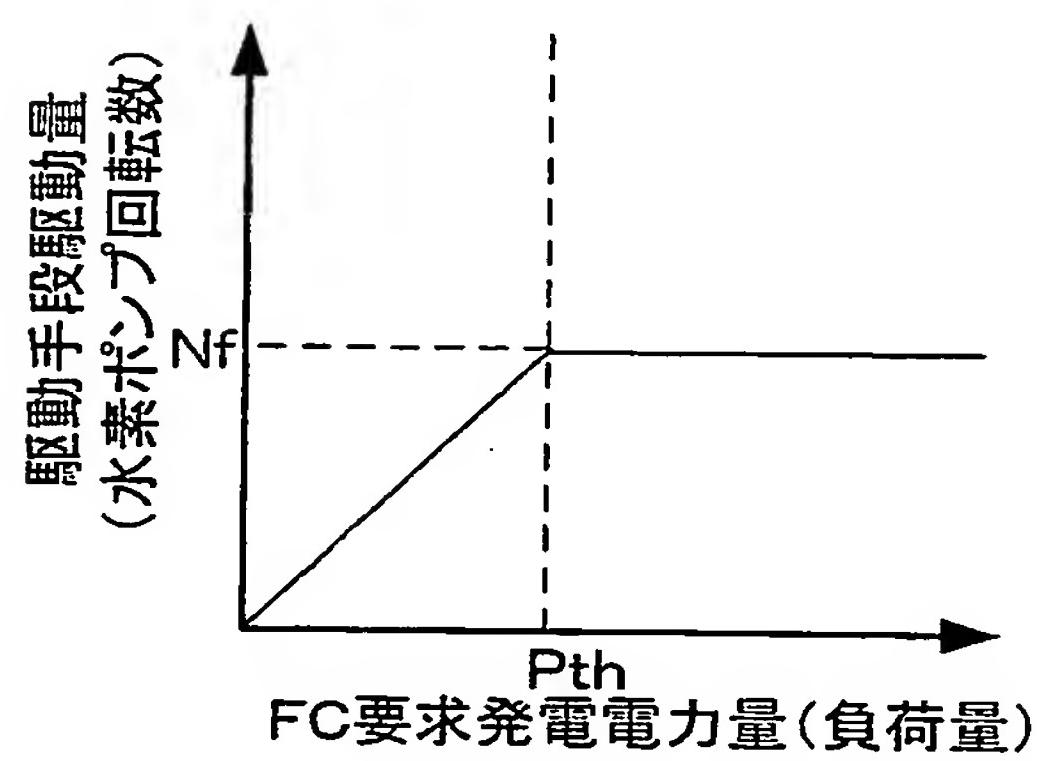


図2C

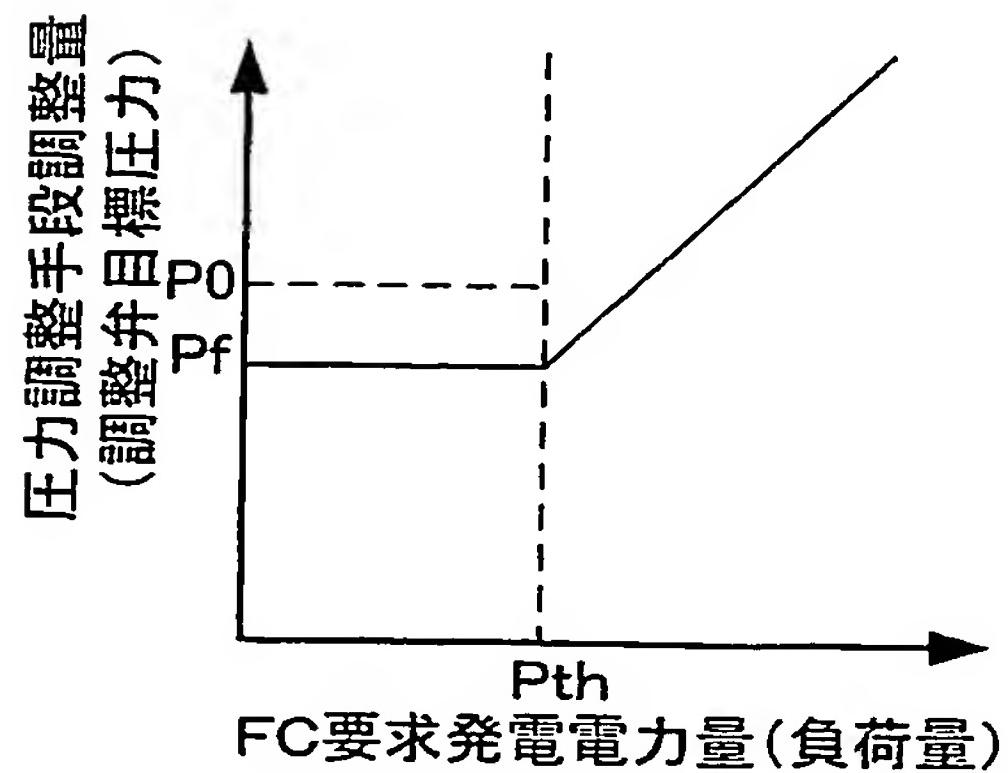


図3

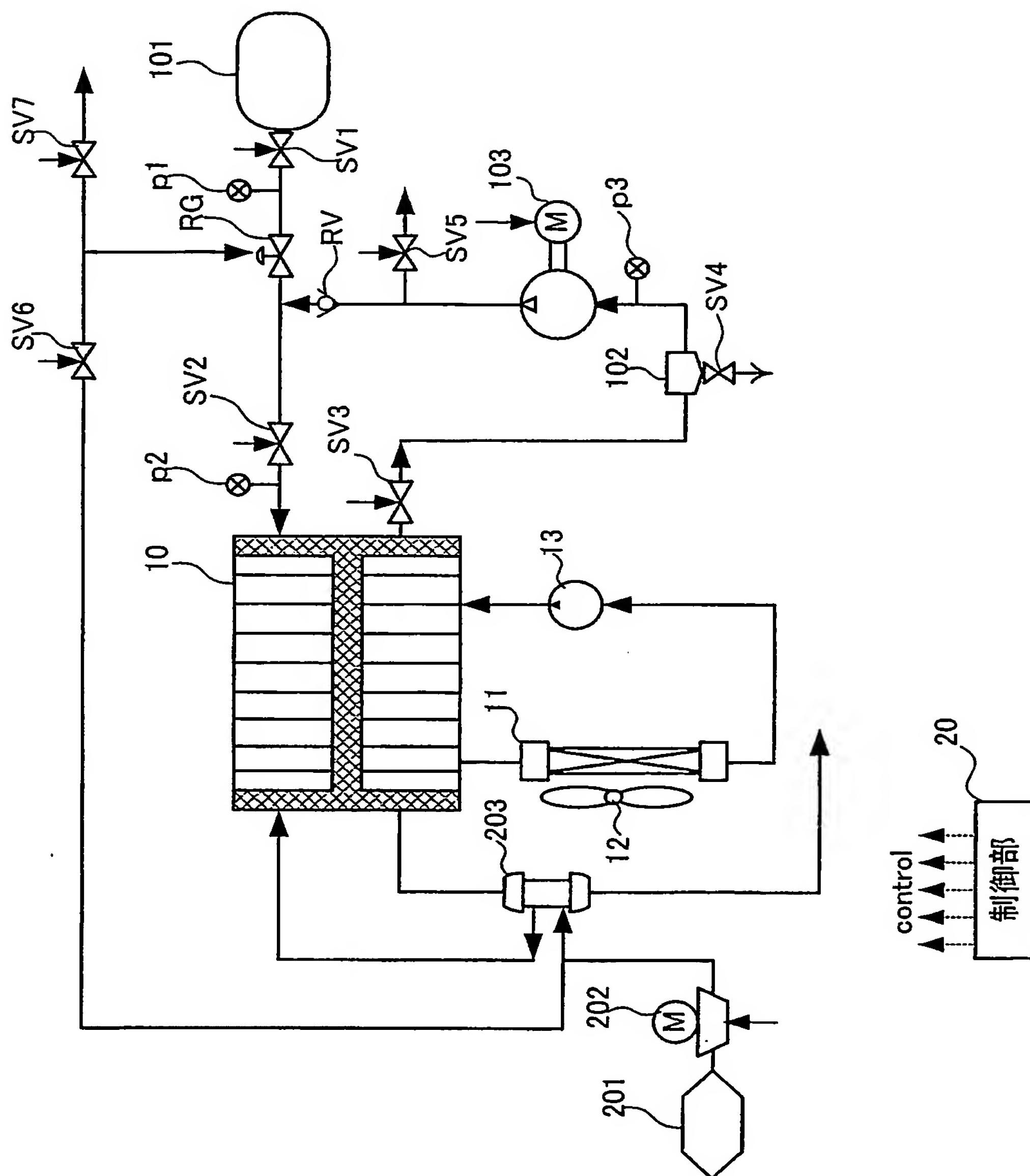


図4

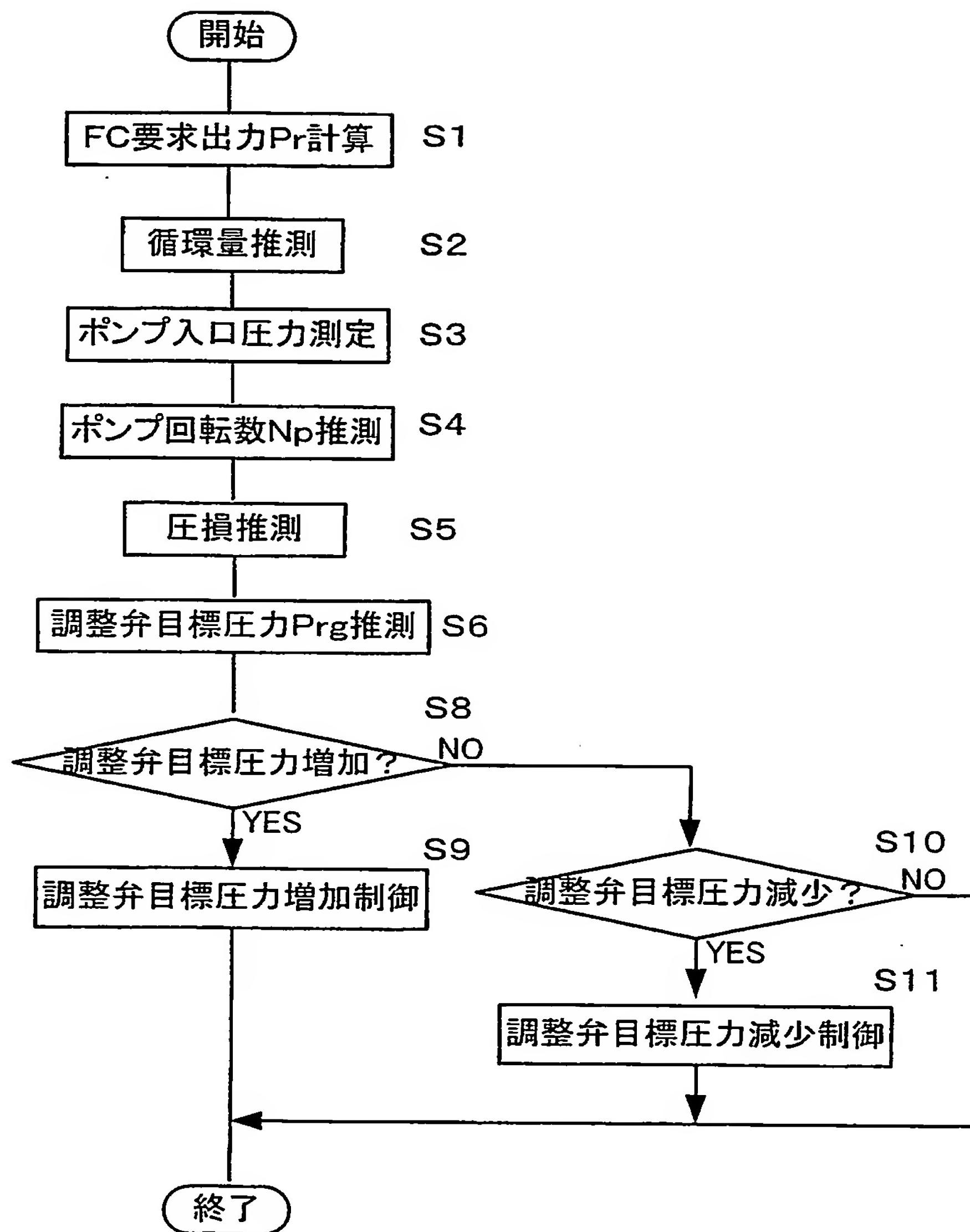


図5

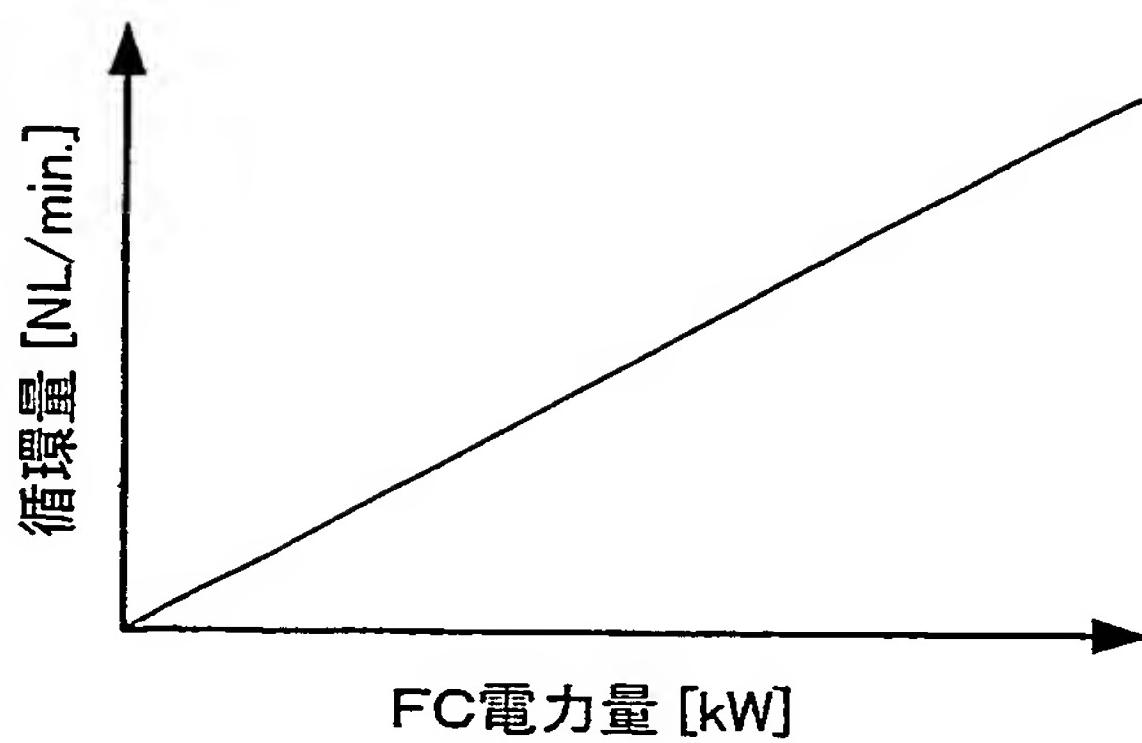


図6

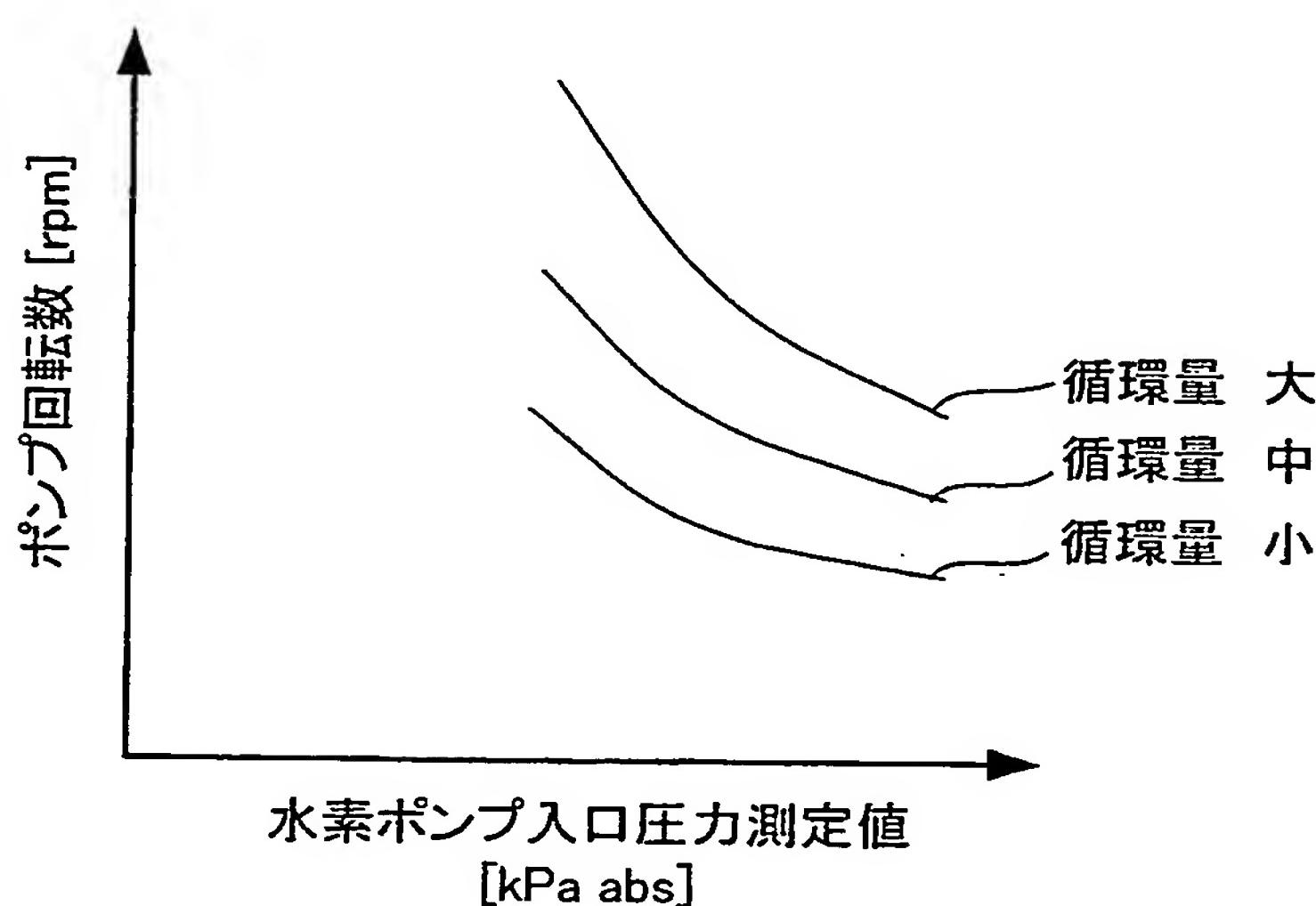


図 7

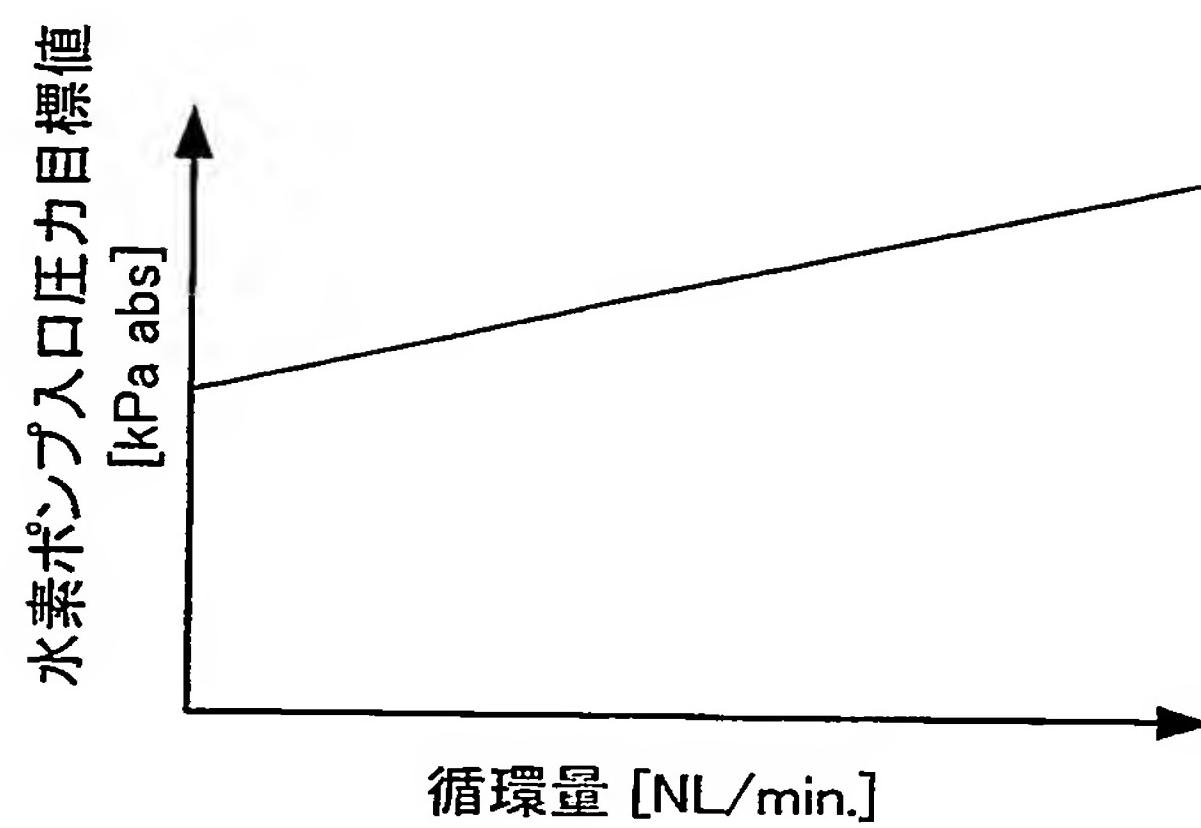


図 8

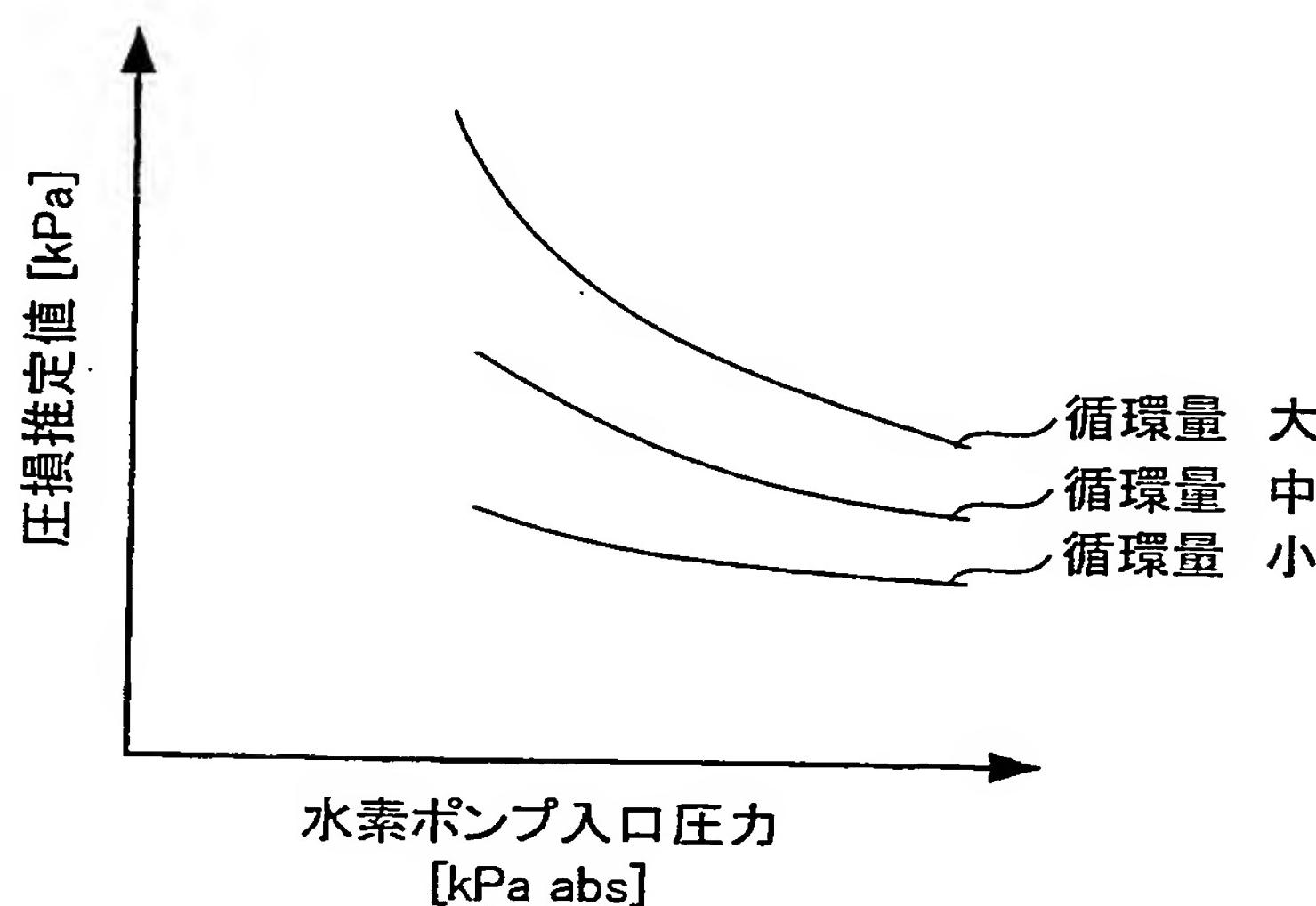
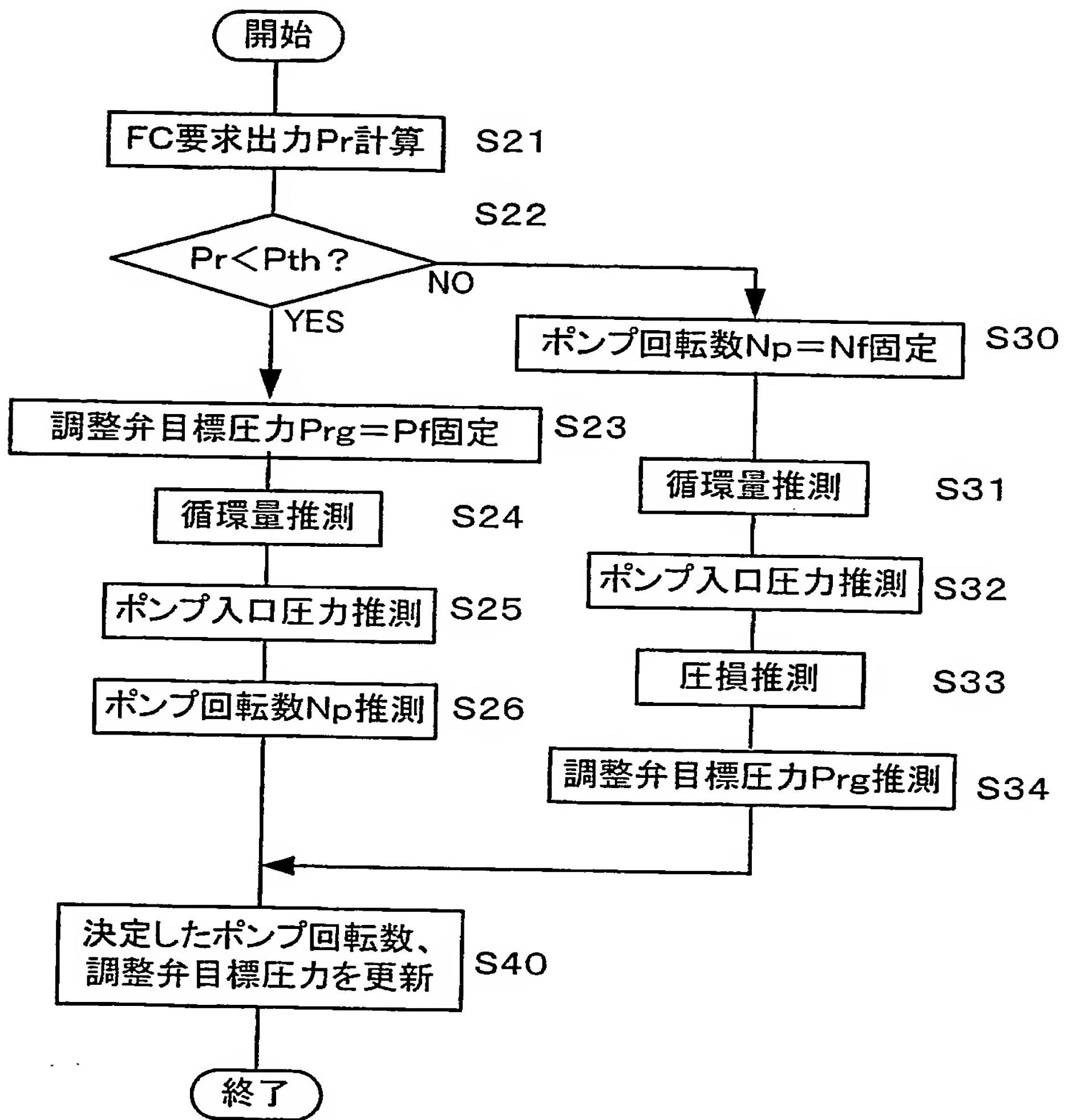


図9



8/10

図 10A

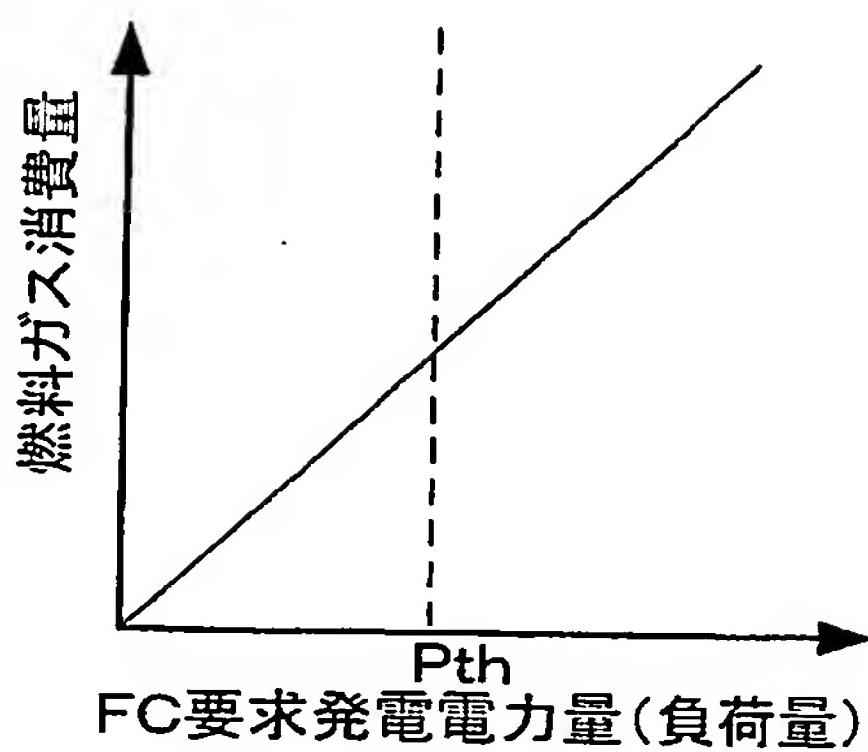


図 10B

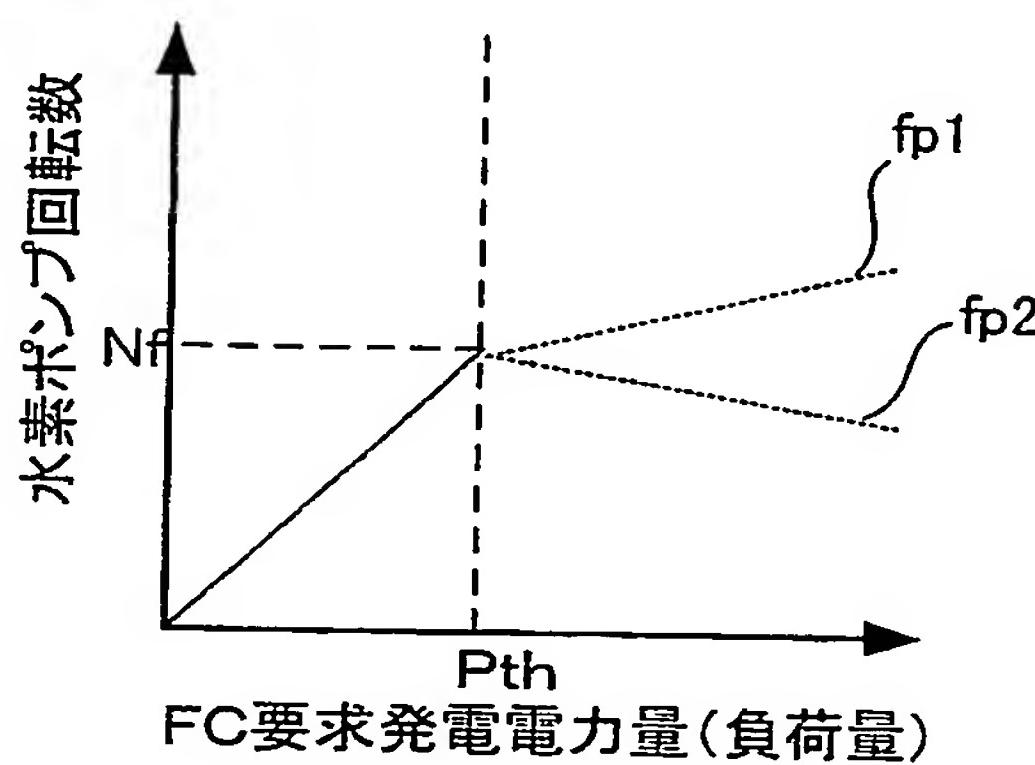
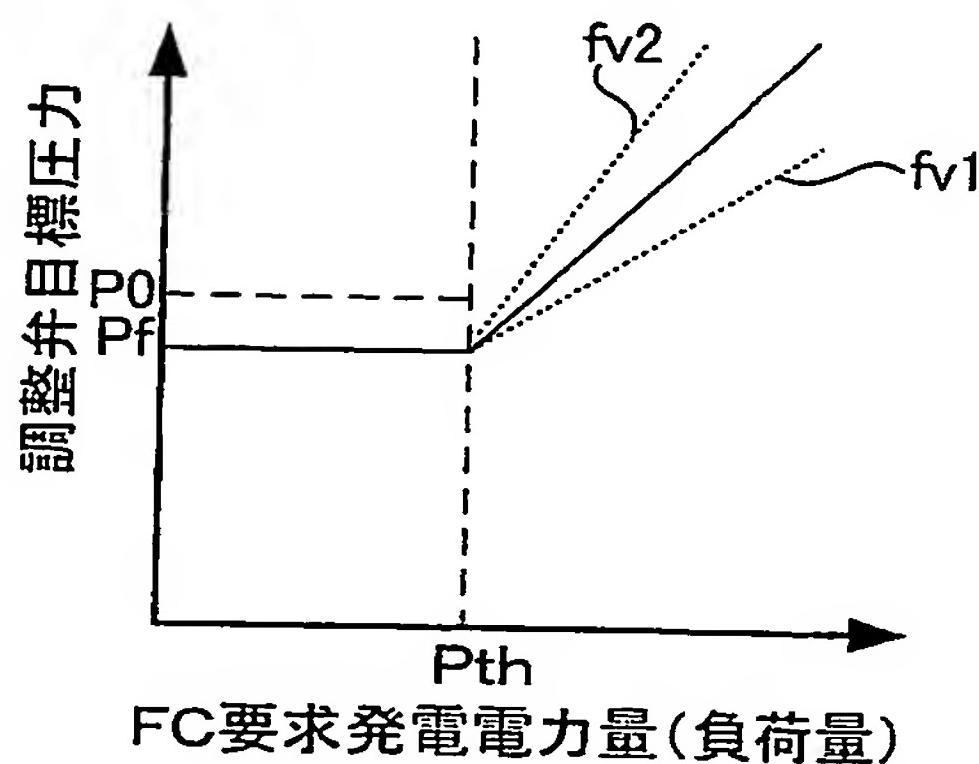


図 10C



9/10

図 11A

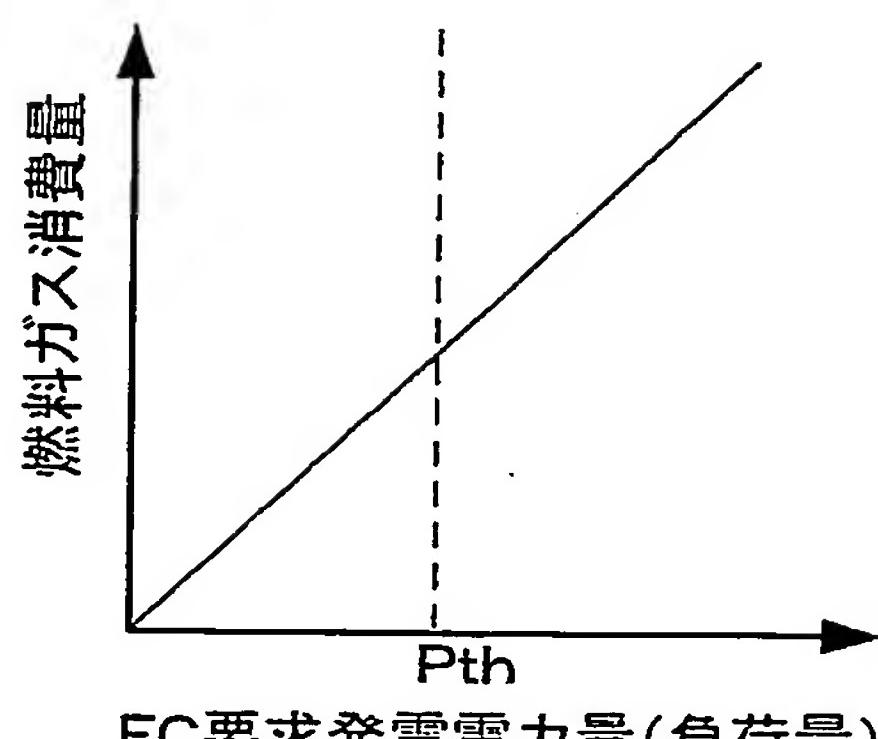


図 11B

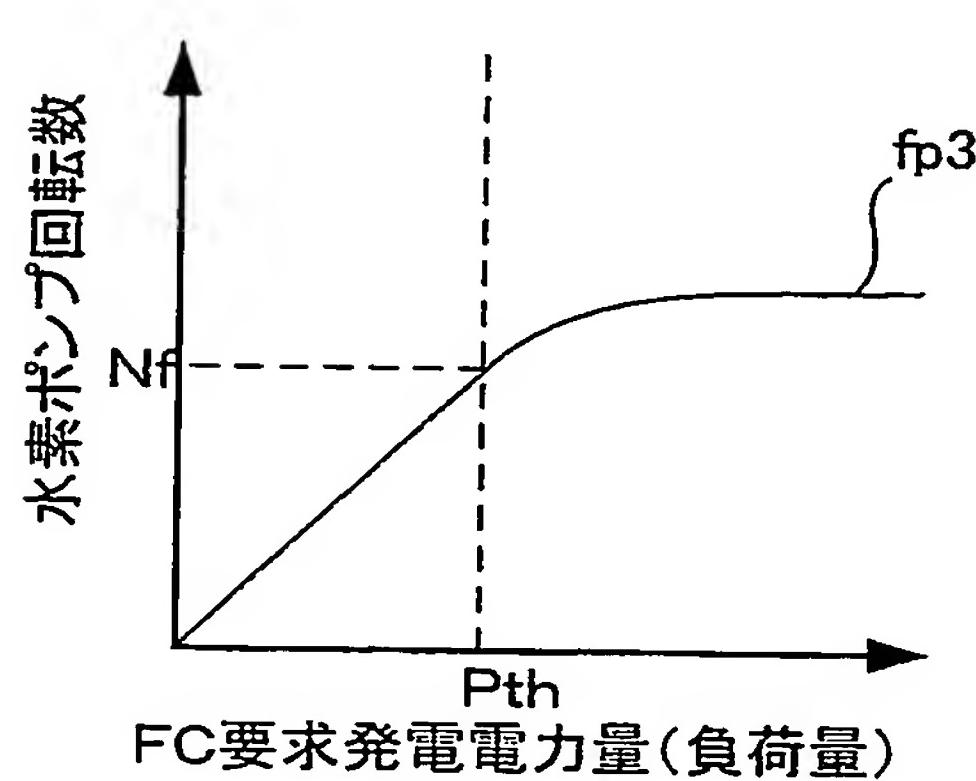


図 11C

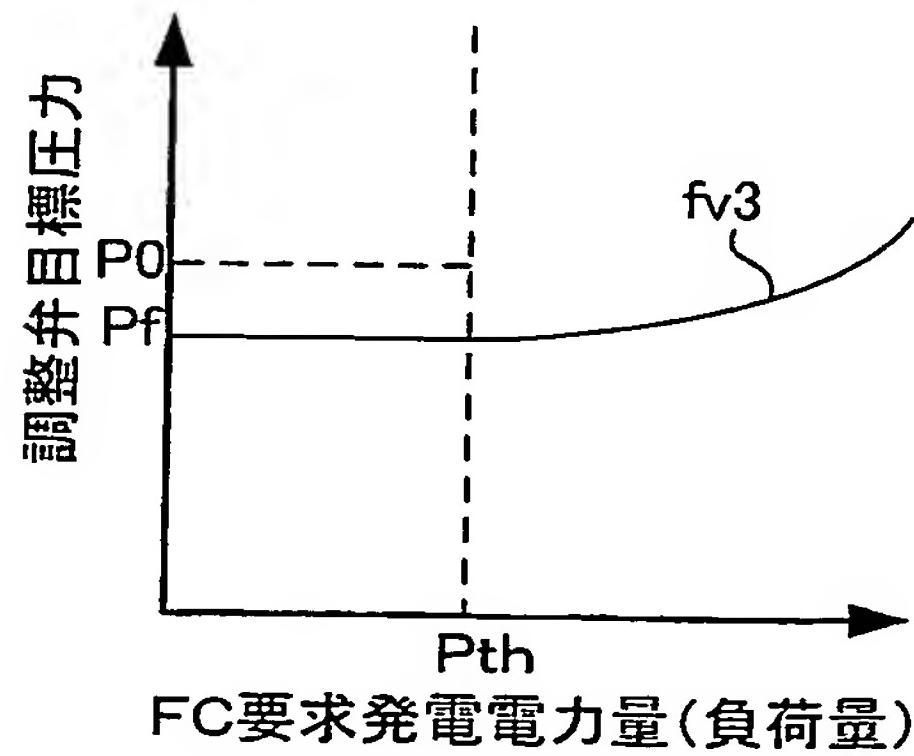


図 12

